

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

DLR – IB – 325 – 14 – 08

**Arbeiten zur Phase 5:
Verbesserung der Systemrobustheit**

Interner Bericht

G. Stockhausen, M. Beversdorff, Joachim Kliner

Institutsleiter:
Prof. Dr.-Ing. R. Mönig

Bearbeiter:
Dr.rer.nat. G. Stockhausen

Köln-Porz, Oktober 2009

INHALT

1. Einleitung	S. 3
2. Die DGV-2-Messzelle	S. 4-6
3. Der Bildleiterhalter (Kamerastem)	S. 7
3.1 Konstruktion	S. 8
3.2 Auslegung der optischen Komponenten	S. 9-10
3.3 Trichteroptimierung	S. 11-12
4. Die dynamischen Lichtschnittmodule	S. 13
4.1 Auslegung der optischen Komponenten	S. 14
4.2 Konstruktion	S. 15-16
4.3 Integration einer mechanischen Strahlfalle	S. 17-20
4.4 Integration einer Justierplatte	S. 21-22
4.5 Integration einer Versteifungsplatte	S. 23-24
5. Erweiterung des Stabilisierungsbereiches und Einkopplung von Referenzgrößen	S. 25-26
6. Kopplung zweier Bildleiter	S. 27
7. Optimierung der Messzeit	S. 28
8. Anhang	S. 29-34

1. Einleitung

Ausgehend von einer Kooperationsvereinbarung Anfang der Neunziger Jahre zwischen MB/EP-CFW Sindelfingen und DASA-MT635 Ottobrunn wurde die Doppler Global Velocity (DGV) Messtechnik in Zusammenarbeit mit dem DLR-Institut für Antriebstechnik hinsichtlich der industriellen Verwendbarkeit für Strömungsmessungen in Triebwerks-Einlaufröhren im Windkanal und der PKW-Aerodynamik untersucht und weiterentwickelt.

Die mit der Phase IV „Durchführung von Versuchen zur aerodynamischen Vermessung der A.I.P. in einem vorhandenen Einlaufmodell“ erzielten Ergebnisse (IB-325-14-06) für stationäre Messungen qualifizierten das stationäre DGV-Verfahren für die Ermittlung von Triebwerkseinlauf-Parametern. Für die sichere Anwendung dieser Messtechnik im Windkanal wurden verschiedenen Arbeitspakete definiert, die unter der Phase V „Verbesserung der Systemrobustheit“ zusammengefasst sind.

Die einzelnen Verbesserungsmaßnahmen betreffen sowohl Modifikationen in den Modulen der DGV-2-Messzelle (A.I.P.-Modul inklusive Lichtschnittzeuger, Bildleiter-Modul inklusive Kamerastem) sowie Neuerungen in der Frequenzstabilisierung und –kontrolle.

Dieser Bericht beschreibt die durchgeführten konstruktiven und optomechanischen Arbeiten zu den EADS-Aufträgen:

3370210/13 (Teilarbeiten der Phase5), /17 (Verbesserung der Robustheit),
3370234/4 (Ergänzende Leistungen zum Projekt „Bau und Validierung der LS-Module) und
3001640 (Restarbeiten zur Phase5).

2. Die DGV-2-Messzelle

Ausgehend von den Erfahrungen mit der DGV-1-Messzelle in der Phase IV wurde der Bau einer neuen DGV-2-Messzelle beschlossen. Neben der Verbesserung der Systemrobustheit sollten auch Anforderungen bezüglich der weiteren Miniaturisierung beachtet werden. Insgesamt wurden daher folgende Veränderungen an den 3 Modulen A.I.P., Venturi und Bildleiter der neuen Messzelle durchgeführt:

- 1.) Es wurden neue dynamische Lichtschnitt-Module ausgelegt und gebaut (Kap. 4), die mit 10µm-Multimode-Lichtwellenleiter arbeiten.
- 2.) Die Spaltbreite der A.I.P. wurde auf 2mm festgelegt.
- 3.) Anstelle des Zwischenrohres wurde eine Venturidüse implementiert, die zur Kontrolle des Massenstromes für im Windkanal dienen soll.
- 4.) Die Ausführung des Kamerastems im Bildleitermodul wurde neu konzipiert, um den Bildleiter parallel zur Messzellenachse herauszuführen (Kap.3).

Der Gesamtaufbau der DGV-2-Messzelle ist in den Abb.1 und 2 dargestellt, die dem Bericht EADS-S-R-2044 entnommen sind.

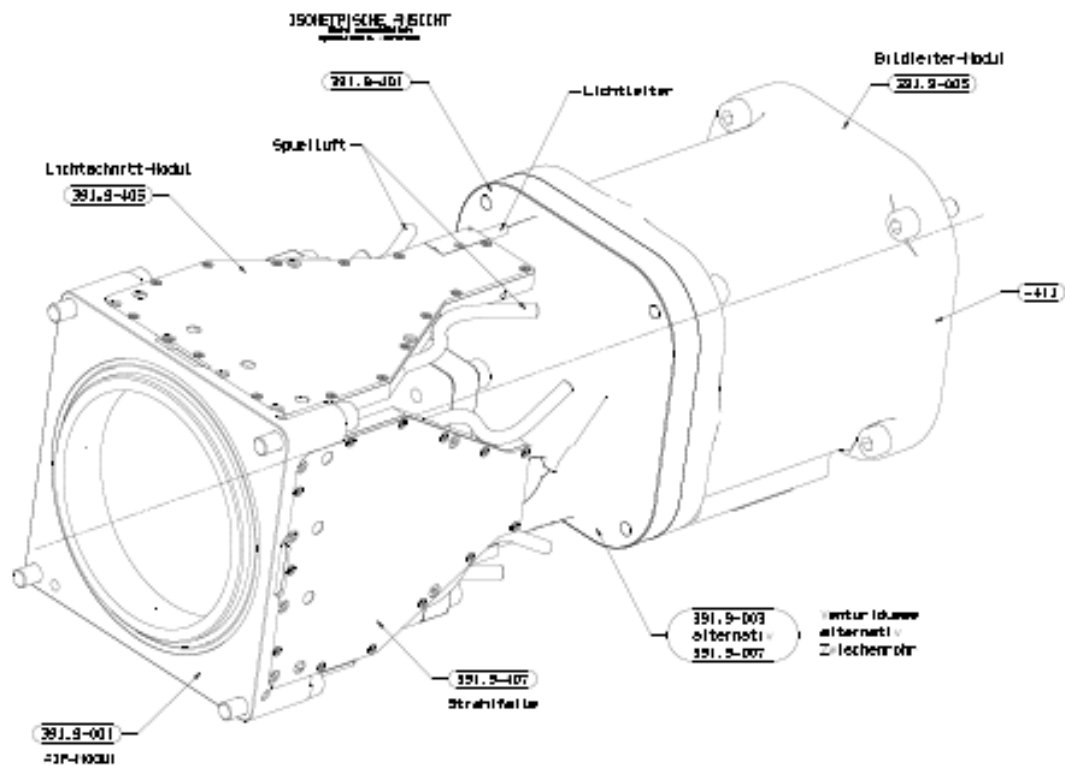


Abb.1: 3D-Ansicht der DGV-2-Messzelle bestehend aus Lichtschnitt-Modul, Venturi-Modul und Bildleiter-Modul

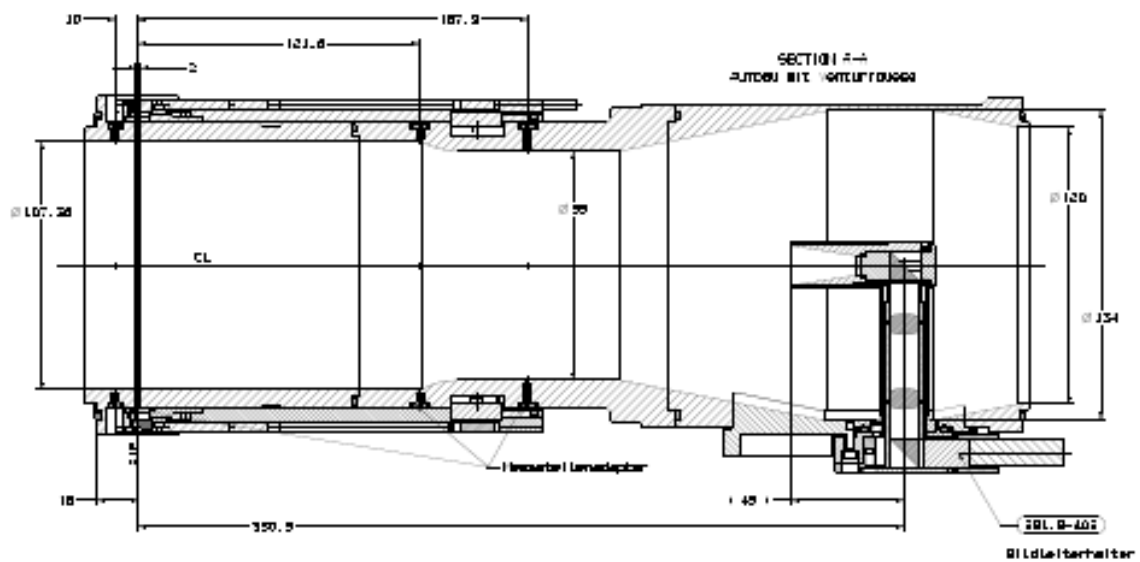


Abb.2: Schnitt durch die DGV-2-Messzelle

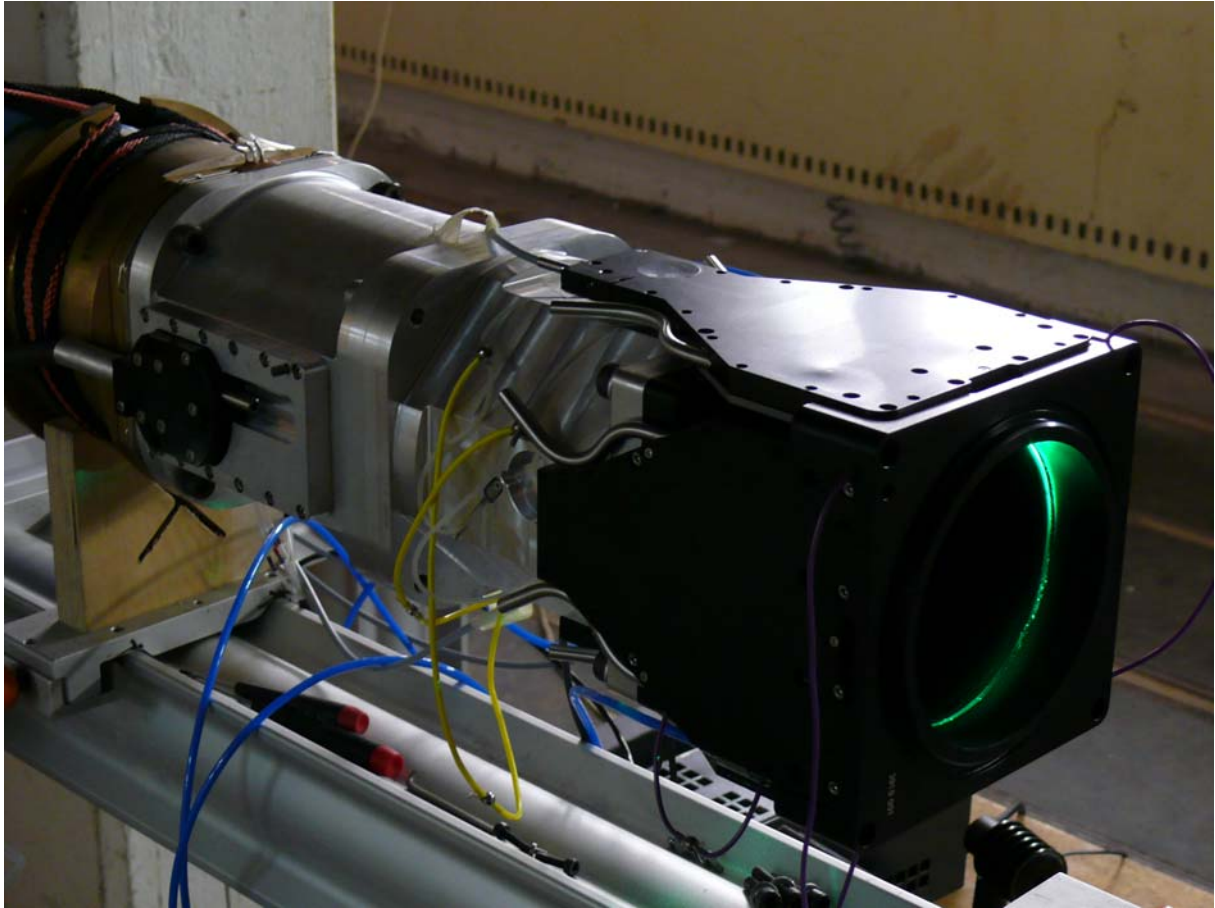


Abb.3 Bild der justierten DGV-2-Messzelle ohne Einlauf

3. Der Bildleiterhalter (Kamerastem)

Bei der Konstruktion des neuen Bildleiterhalters waren folgende Randbedingungen zu beachten:

- 1.) Im Gegensatz zur DGV-1-Messzelle wird der Bildleiter nun parallel zur Messzellenachse herausgeführt und überragt so nicht mehr die Kontur des Einlaufs. Dazu ist es notwendig, das vom Objektiv produzierte Zwischenbild mit einer Transferoptik um- und weiterzuleiten (Kap. 3.2).
- 2.) Zur Vermeidung von Verschmutzungseffekten auf dem Objektiv wurde ein mit sauberer Luft durchspülter Trichter optimiert und integriert (Kap. 3.3)
- 3.) Die Justagemöglichkeit der Beobachtungsrichtung soll in engen Grenzen um den Auslegungspunkt gegeben sein.
- 4.) Der Ausbau des Kamerastems soll schnell erfolgen und nach Wiedereinbau die eingestellte Beobachtungsrichtung sicher reproduzieren können.

3.1 Konstruktion

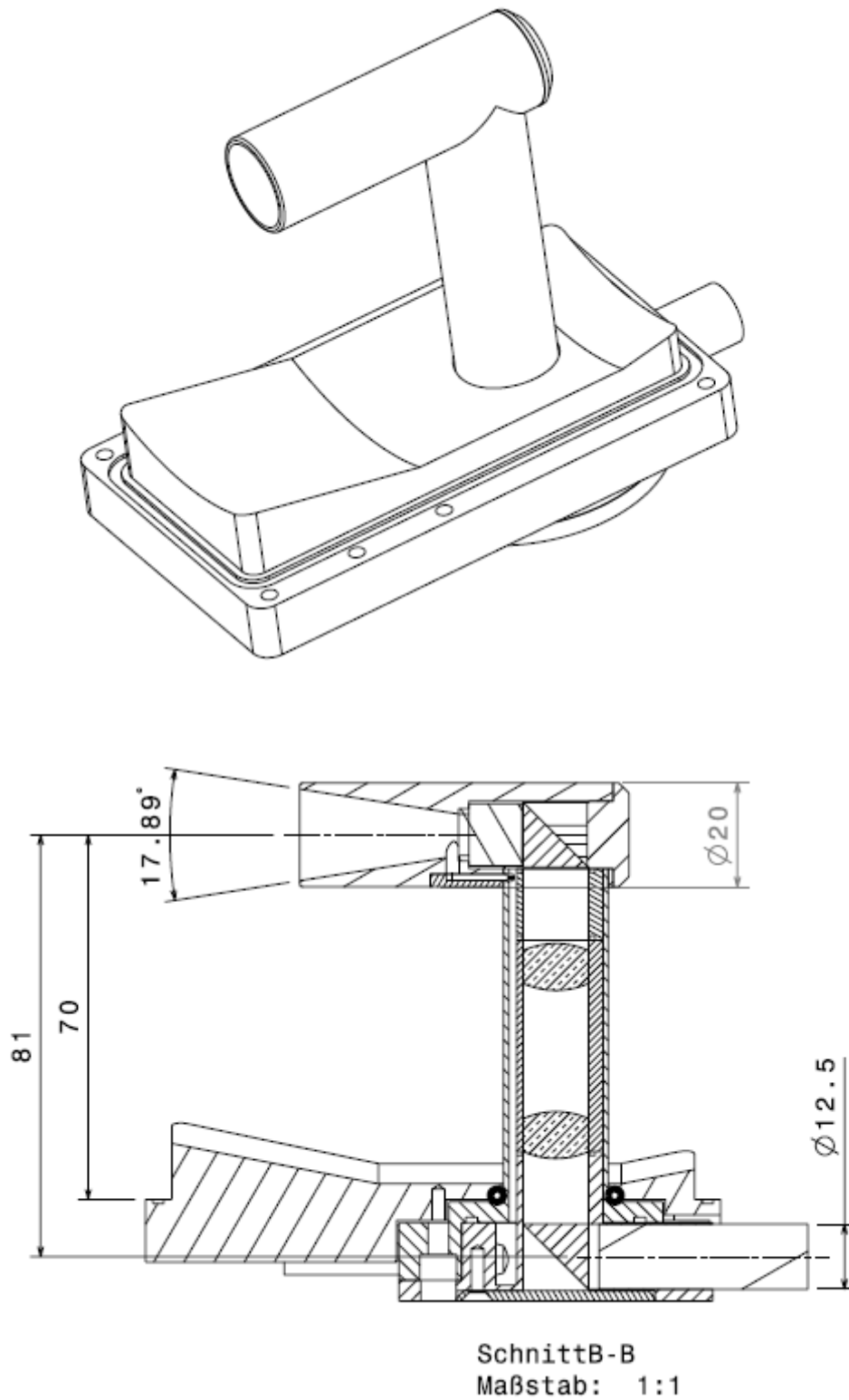
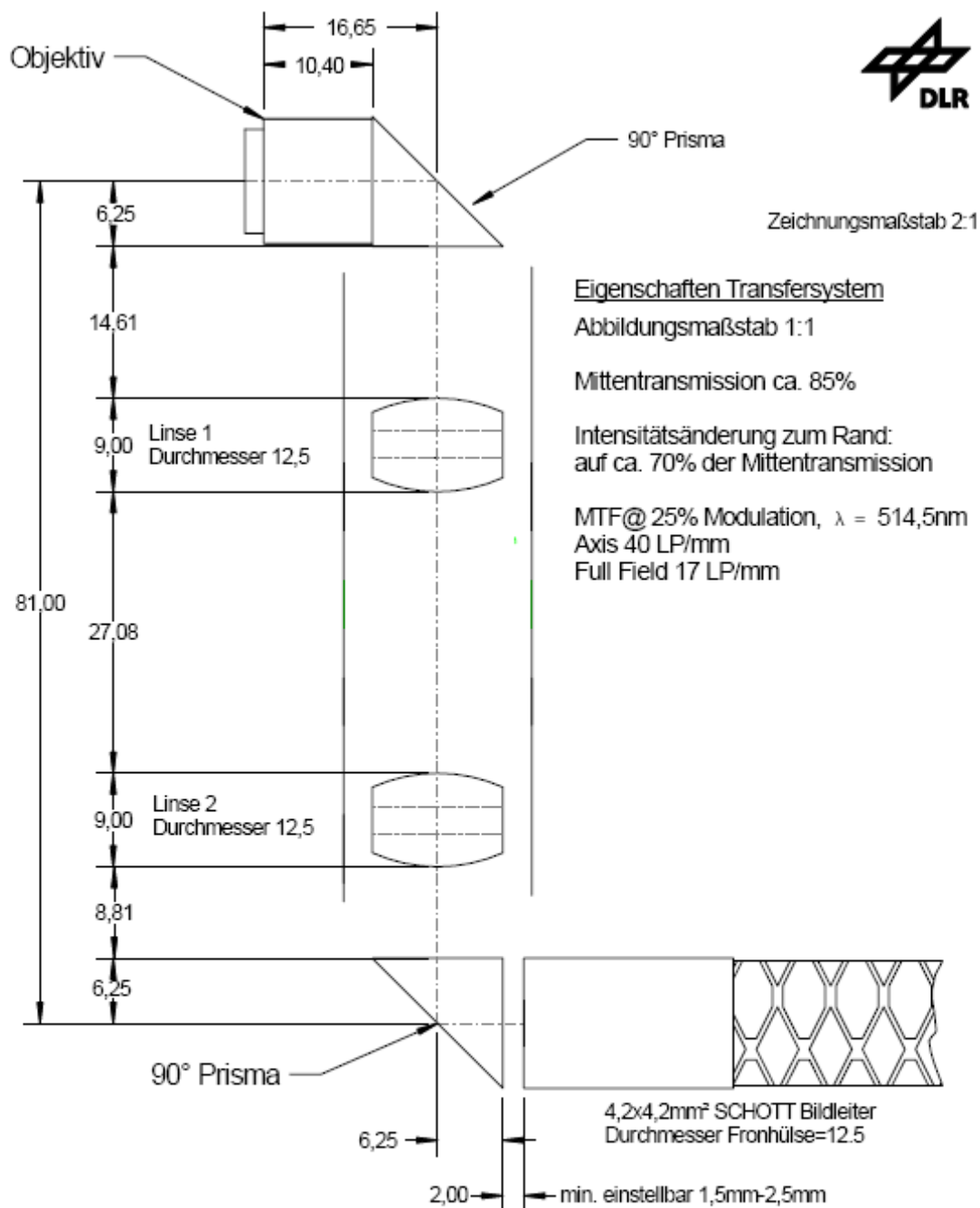


Abb.4 und 5: CAD-Modell und Konstruktionsskizze des Stems

3.2 Auslegung der optischen Komponenten



Optische Komponenten

Objektiv
f=12mm, f#≈2,05
Durchmesser der Frontlinse=8mm
frontseitiges Aussengewinde:
M10x0,30, 1,8mm tief
Aussenddurchmesser=12mm
Länge=12,2mm
Anbieter: LINOS

Prismen
12,5 mm Kantenlänge, BK7
n@514,5=1,5206
Hypotenuse aluminiumbeschichtet
und Außenseite geschwärzt
Ein- und Austrittsfläche
mit Einfach AR Coating MgF2
Anbieter: Edmund Industrieoptik

Linsen
Steinheil Triplets
f=20mm, f#≈1,6
Durchmesser 12,5mm
HEBBAR Breitbandcoating
Anbieter: Melles Griot

Abb. 6 Optisches Transfersystem zur Bildführung im Sten



Abb. 7 und 8: Kamerastem vor und nach dem Zusammenbau

3.3 Trichteroptimierung

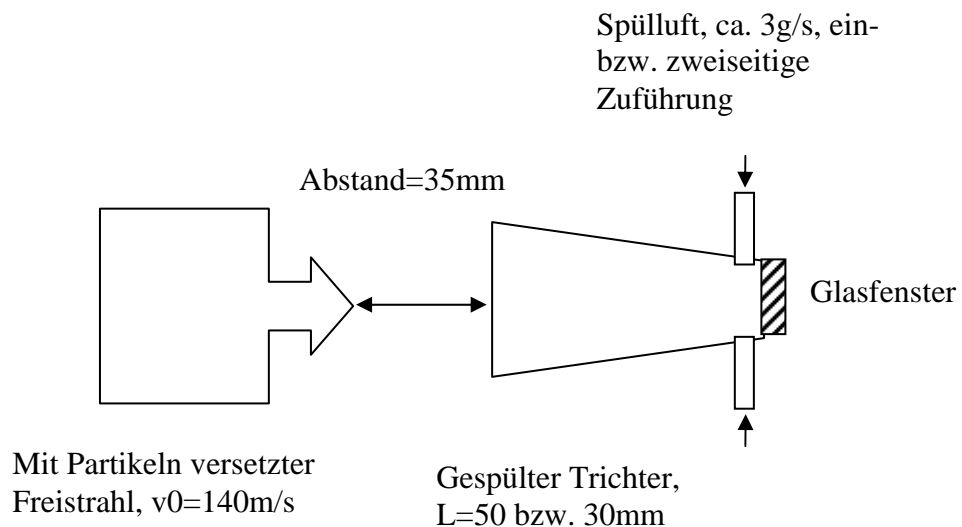


Abb. 9: Prinzipskizze des Trichterversuches vom 20.02.2007:

Durchführung:

Das am Ende des Trichters eingebaute Glasfenster wurde vor Versuchsbeginn gesäubert, der geseedeten Strömung unter verschiedenen Randbedingungen (Trichterlänge, Seedingart, Spülluftzufuhr) ausgesetzt und nach ca. 1 Minute Betrieb auf Verschmutzung überprüft.

Ergebnis:

- 1) Trichterlänge=50mm, Seedingerzeugung mit Impaktor (geringe Seedingdichte, kleine Partikel), keine Spülluft) => keine Verschmutzung! (Seeding entspricht in etwa den bei Einlaufversuchen erzeugten Partikeln mit 1,25bar Vordruck)
- 2) Trichterlänge=50mm, Seedingerzeugung ohne Impaktor (hohe Seedingdichte, kleine und große Partikel), einseitige Spülluftzufuhr mit 3g/s => Verschmutzung tritt auf! (Seeding entspricht in etwa den bei Einlaufversuchen erzeugten Partikeln mit 4,0 bar Vordruck)
- 3) Trichterlänge=50mm, Seedingerzeugung ohne Impaktor (hohe Seedingdichte, kleine und große Partikel), zweiseitige Spülluftzufuhr mit 3g/s => Verschmutzung tritt nicht mehr auf!
- 4) Trichterlänge=30mm, Seedingerzeugung ohne Impaktor (hohe Seedingdichte, kleine und große Partikel), zweiseitige Spülluftzufuhr mit 3g/s => Verschmutzung tritt nicht mehr auf!

Folgerungen:

- Bei der Verwendung eines gut eingestellten Seedinggenerators (kleine bis mittlere Seedingdichte, Tröpfchen hinreichend klein) ist keine Verschmutzung des Bildleiter-Objektives bzw. des Schutzfensters zu erwarten.
- Höhere Seedingdichten mit eventuell auftretenden größeren Tröpfchen können in einem 30mm langen Trichter mit zweiseitiger Spülluftzufuhr (ca. 3g/s) abgebremst und umgekehrt werden.

Die Trichterlänge wird auf 30mm festgelegt.
Es wird eine zweiseitige Spülluftzuführung konstruiert.

4. Die dynamischen Lichtschnittmodule

Um der erforderlichen Miniaturisierung Rechnung zu tragen, wurden neue Lichtschnittmodule entworfen, deren Erzeugung nach dem Scanner-Prinzip funktioniert: Das von einer Faser austretende Laserlicht wird durch einen rotierenden Polygonspiegel permanent abgelenkt, so dass ein divergenter Lichtschnitt entsteht. Dieser wird durch zwei Linsen in einen parallelen Lichtschnitt transformiert und so fokussiert, dass eine theoretische minimale Lichtschnittdicke von ca. 0.5mm in der A.I.P.-Mitte entsteht. Des Weiteren erfolgt eine 90° Umlenkung am Lichtschnittmodul zur A.I.P. durch ein Prisma.

Im Gegensatz zu den in der Phase4 verwendeten statischen LS-Modulen, die eine schwer zu justierende Monomode-Faser (3µm Kern) enthalten, benötigen die neuen dynamischen LS-Module eine wesentlich einfacher zu handhabende 10µm-Multimodefaser.

Um die Sauberkeit während der Messung mit geseedeter Luft zu gewährleisten, wurden Spülluftkanäle integriert, die die Prismenfläche zur A.I.P. durch einen Luftfilm vor Verschmutzung schützen sollten.

Ein kritischer Punkt ist die Dichtigkeit der Schnittstelle zwischen A.I.P. Modul und LS-Modul, welche durch einen O-Ring erfüllt werden sollte.

4.1. Auslegung der optischen Komponenten

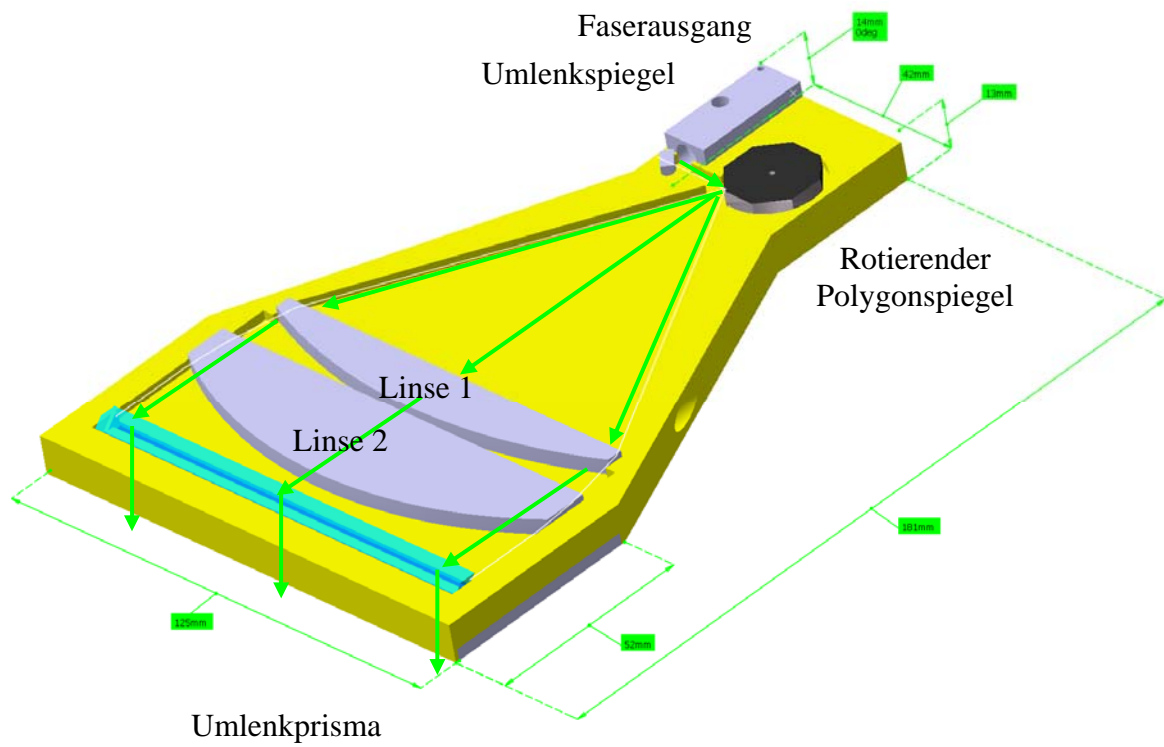


Abb. 10: Erzeugung eines parallelen Lichtschnitts mittels rotierendem Polygonspiegel und einer Linsencombination ($f_1=254\text{mm}$, $f_2=200\text{mm}$)

4.2. Konstruktion

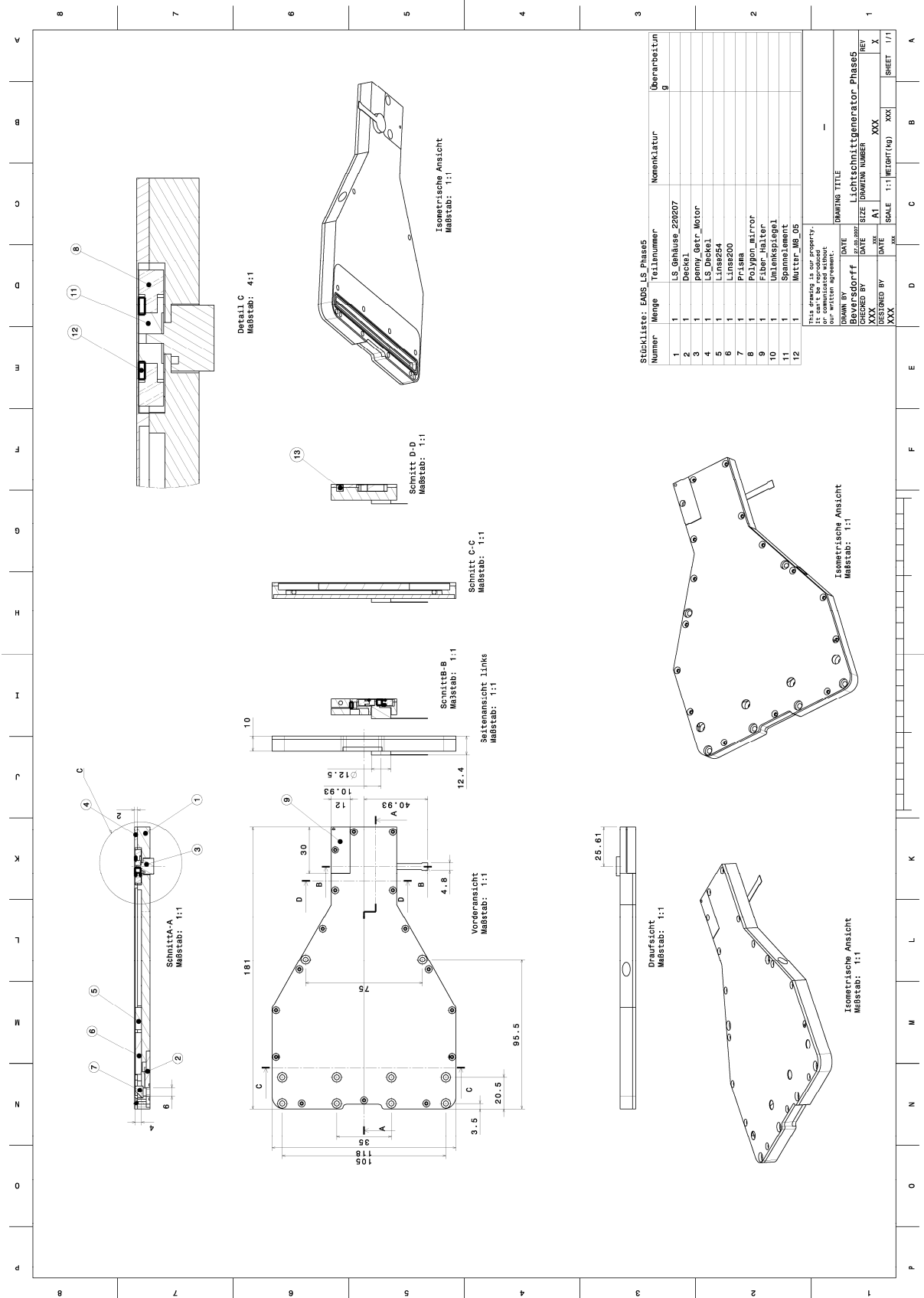


Abb. 11: Konstruktionszeichnung eines Lichtschnittmoduls

4.3 Integration einer mechanischen Strahlfalle

Die Versuche mit den neuen dynamischen Lichtschnitt-Modulen zeigten starke Rückreflexe des Lichtschnitts nach Eintritt in das gegenüberliegende Modul. Die Ursache dafür war das Auftreffen von Laserlicht am rotierenden, hoch reflektierenden Polygonspiegel. Die übliche Vorgehensweise zur Verminderung dieses Reflexes – eine leicht schräge Justage – war aufgrund der zu geringen Abstände der beiden gegenüberliegenden LS-Module nur unzureichend möglich.

Als Lösungsmaßnahme wurde daher eine zusätzliche mechanische Strahlfalle in die LS-Module integriert. Dabei wird durch Anlegen eines Druckes von ca. 5bar ein Kolben hydraulisch bewegt, der ein dünnes schwarz lackiertes Metallblech vor die Unterseite des Prismas schwenkt und somit den Durchgang zum rotierenden Polygonspiegel verhindert.

Die Ansteuerung dieser Funktion wurde elektronisch realisiert und mit dem Einschalten der beiden gegenüberliegenden Lichtschnitte automatisch synchronisiert.

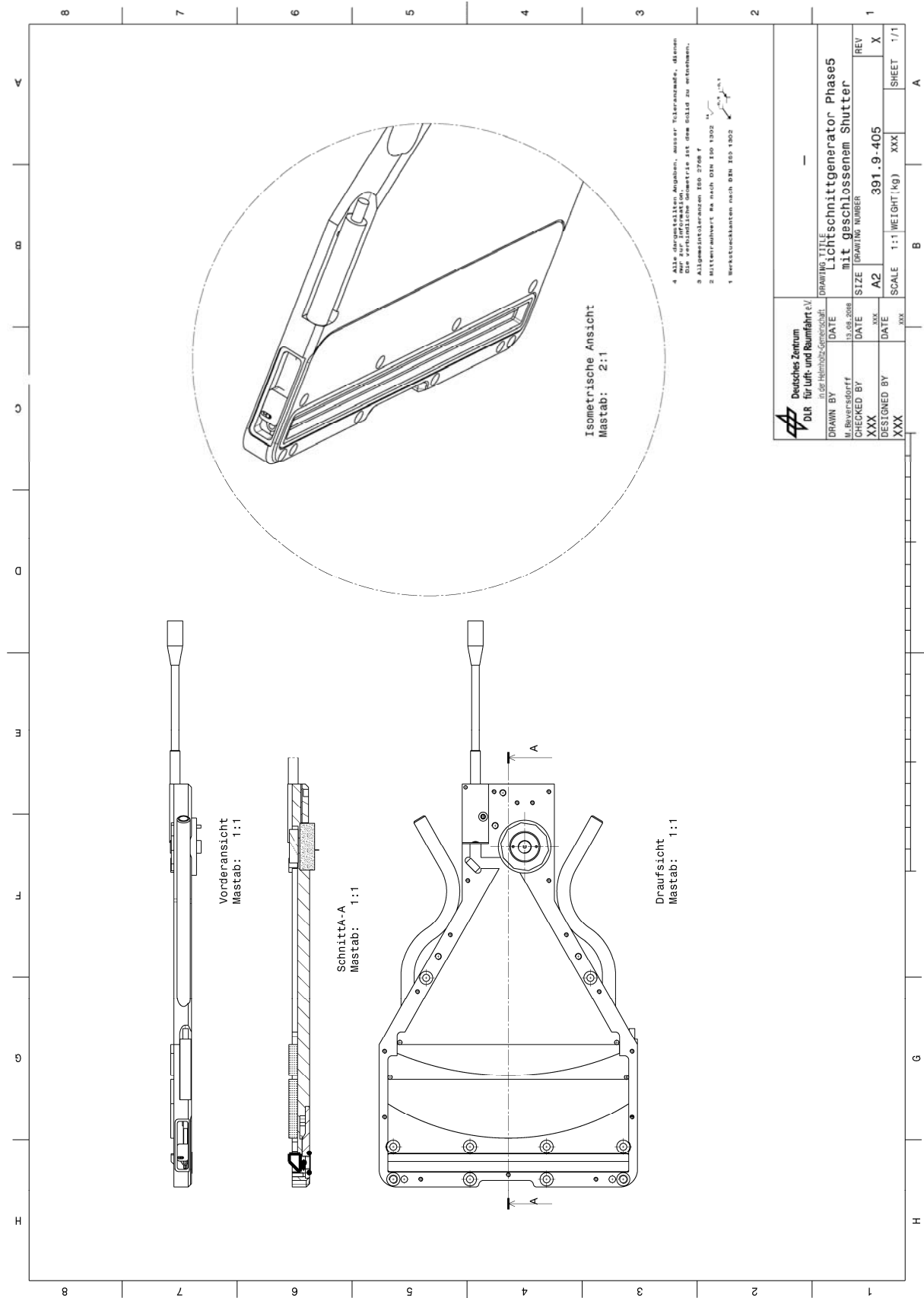


Abb.14: Konstruktionszeichnung LS-Generator mit aktivierter Strahlfalle

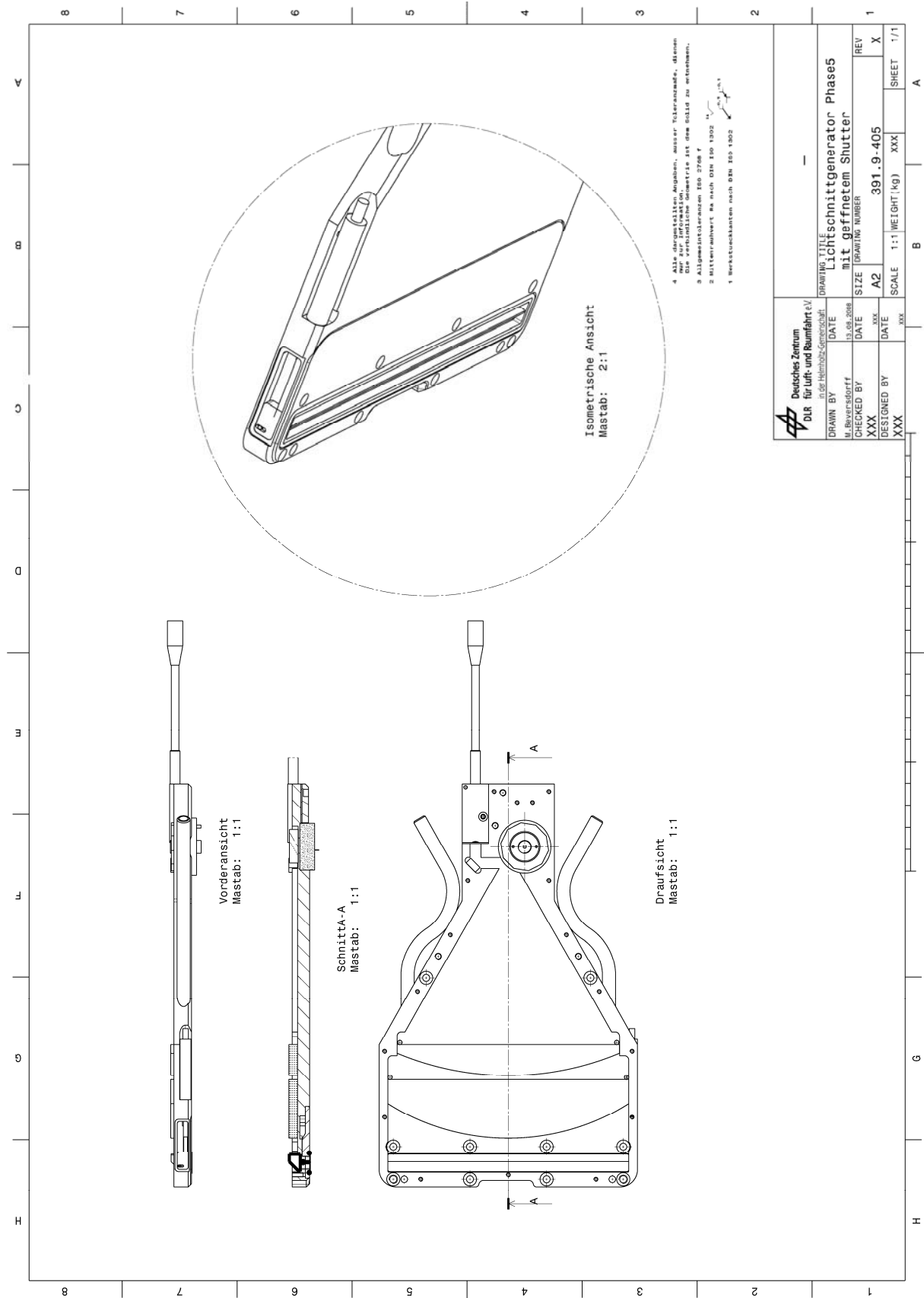


Abb.15: Konstruktionszeichnung LS-Generator mit de-aktivierter Strahlfall



Abb. 15 und 16: Shuttermechanik und Einbauposition im LS-Gehäuse

4.4 Integration einer Justierplatte

Eine weitere Erkenntnis aus den Vorversuchen war die deutliche Verbreiterung der Lichtschnittdicke auf ca. 1.0mm gegenüber den ausgelegten 0.5mm. Ursachen dafür ist ein ausgeprägtes Wobbelverhalten des rotierenden Polygonspiegels aufgrund von nicht perfekt planaren Oberflächen und eventuellen mechanischen Instabilitäten durch den Einsatz eines Miniaturmotors.

Durch diese Verbreiterung wurde die erforderliche reflexfreie Justage des Lichtschnitts durch die A.I.P. mit den vorhandenen Justiermöglichkeiten der Faserhalterung erheblich erschwert. Um dieses Problem zu lösen, wurde daher eine zusätzliche Justierplatte konstruiert und unter den LS-Modulboden integriert. Durch verstellbare Schrauben können Neigung und Winkel des Lichtschnitts relativ zum A.I.P.-Spalt eingestellt werden.



Abb.17: Bild der Justierplatte

4.5 Integration einer Versteifungsplatte

Die Anforderung nach weitergehender Miniaturisierung erforderte einen sehr dünnen Boden des LS-Moduls. Dieser zeigte Verformungen beim mechanischen Verschrauben mit dem A.I.P.-Modul, so dass die Strahllage des Lichtschnitts nicht mehr exakt nach einem Ausbau reproduziert werden konnte.

Um die Steifigkeit zu verbessern, wurde eine zusätzliche 8mm dicke Stahlplatte Zwischen Justierplatte und A.I.P.-Modul integriert.

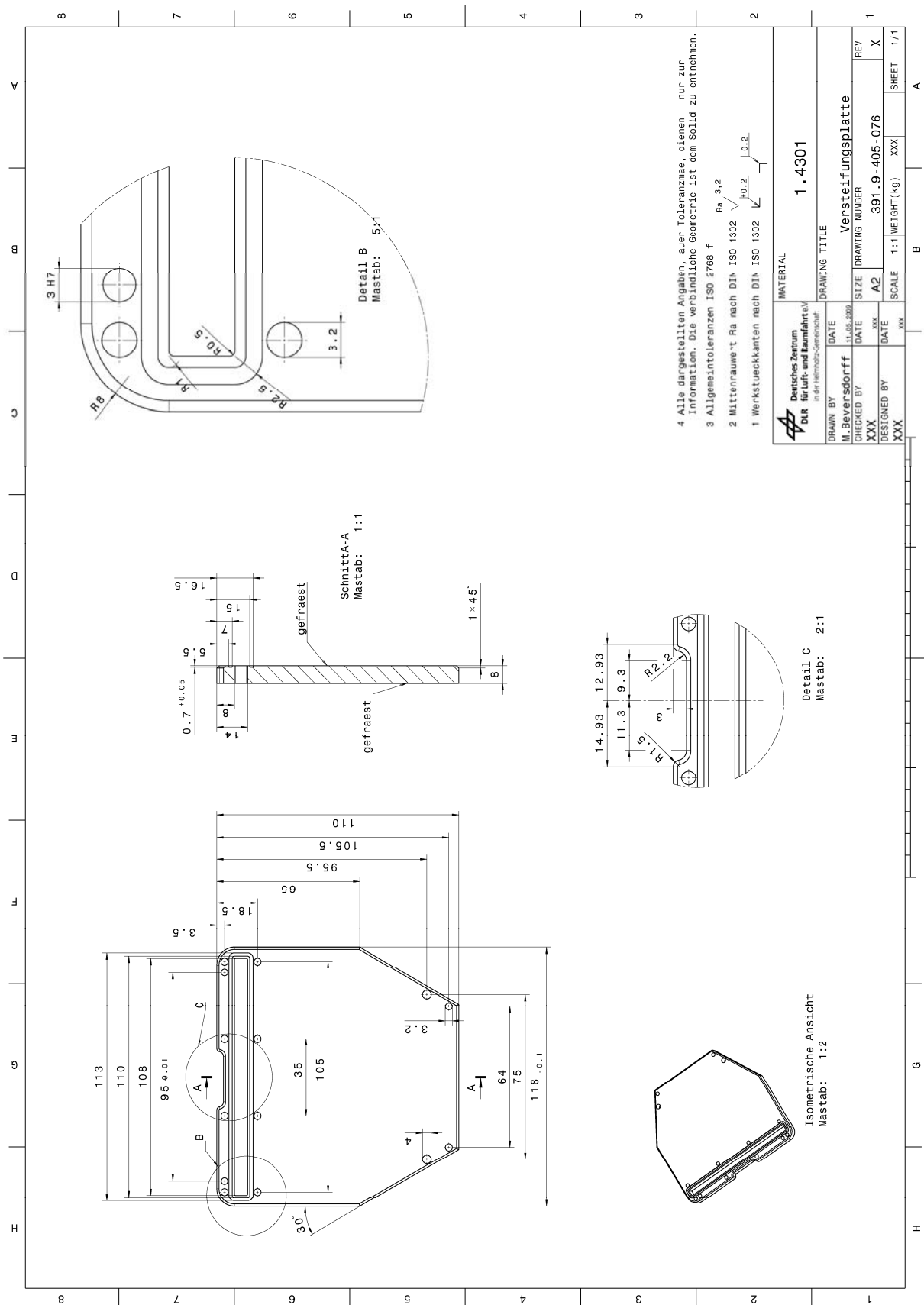


Abb.19: Konstruktionszeichnung der Versteifungsplatte

5. Erweiterung des Stabilisierungsbereiches und Einkopplung von Referenzgrößen

Um den hohen axialen Geschwindigkeiten in der A.I.P. und den damit verbundenen großen Frequenzverschiebungen Rechnung zu tragen, ist eine Stabilisierung im unteren Teil der Jodlinie notwendig. Die dort vorhandene niedrige Transmission führt zu kleinen Regelsignalen und somit zu Instabilitäten in der Frequenzregelung.

Daher wurde ein neues Stabilisierungskonzept entworfen, bei dem das in die Regeleinheit eingespeiste Laserlicht durch eine Braggzelle um 270 MHz verschoben wird. Dieses zu höheren Transmission verschobene Licht kann als neues Regelsignal benutzt werden, wodurch eine stabile Regelung mit erhöhtem Signalniveau erreicht wird.

Eine weitere Verbesserung der Systemkontrolle wurde durch die Einkopplung von zwei Referenzgrößen in das DGV-Kamerasystem realisiert. Bevor das ankommende Laserlicht die Braggzelle erreicht, wird ein kleiner Teil durch eine Glasplatte in der Frequenz unverschoben ausgekoppelt und auf eine Lichtfaser abgebildet. Dieses geschieht ebenfalls nach dem Braggzellen-Durchgang, wobei dieser Lichtanteil nun um 270MHz verschoben ist. Beide Lichtsignale werden nach einer Anpassung der Helligkeit mittels eines variablen Abschwächers durch eine rotierende Milchglasscheibe geleitet, wodurch die störende Moden-Struktur der Fasern zerstört wird. Danach werden die so homogenisierten Referenzgrößen durch weitere Fasern in das DGV-Kameragehäuse transportiert und neben dem eigentlichen Signalbild auf dem CCD-Chip abgebildet.

Durch diese Maßnahme kann die Funktionalität von Kamerasystem und Jodzelle jederzeit kontrolliert werden, da der Frequenzabstand der beiden Signale exakt bekannt ist.

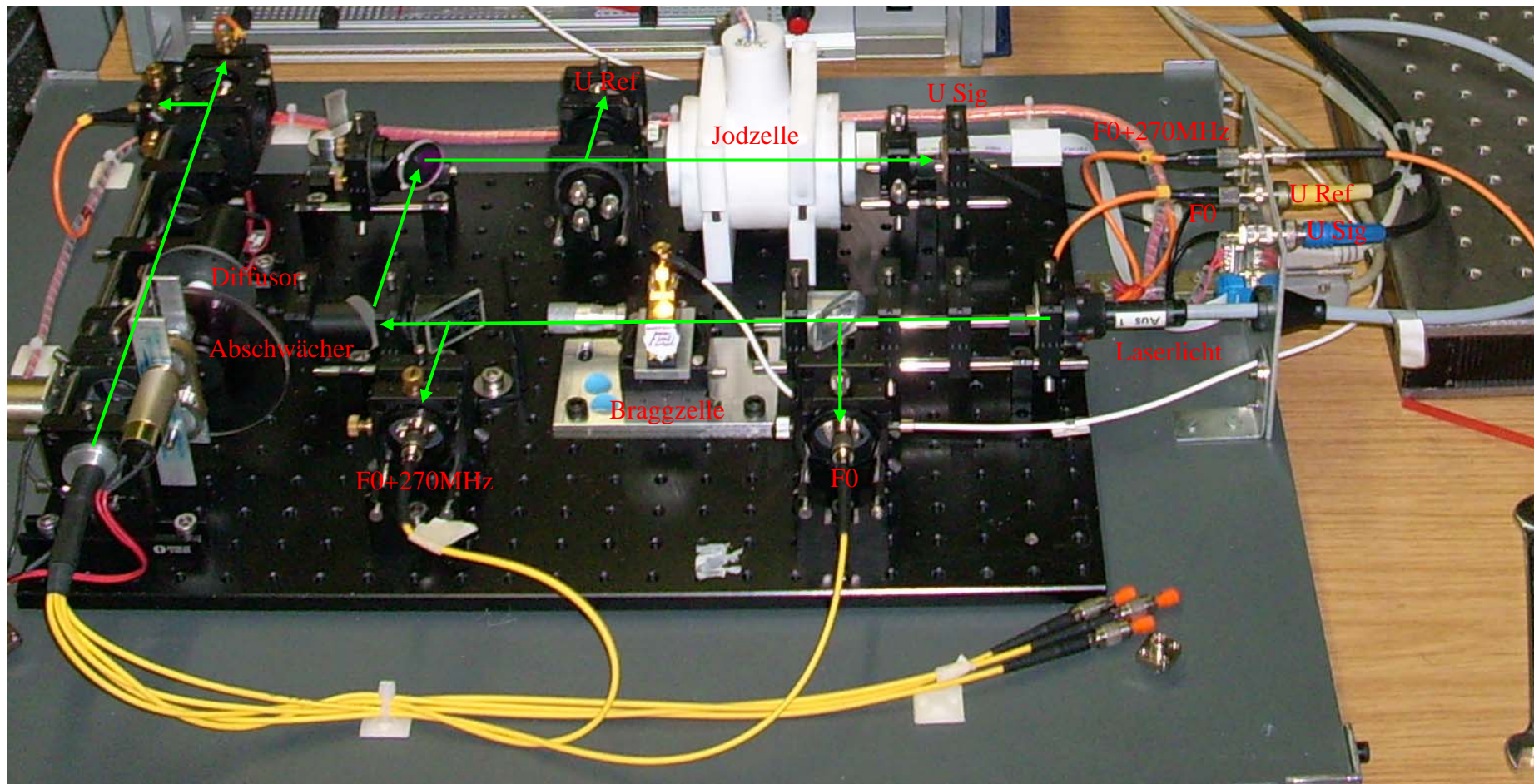


Abb.20: Aufbau der neuen Stabilisierungseinheit inklusive Frequenzverschiebung und Einkopplung der Referenzgrößen

6. Kopplung zweier Bildleiter

Für den Einsatz in einem realen Windkanal ist die Länge eines Bildleiters von 4,57m oftmals nicht ausreichend, um das Signal aus der Messzelle in das entfernt platzierte DGV-Kameragehäuse zu leiten. Daher war es notwendig, zwei Bildleiter zu koppeln. Diese zusätzliche optische Abbildung reduziert allerdings das Signalniveau und führt eine zusätzliche Unschärfe mit sich.

Aus den durchgeführten Vorversuchen (Kopplung dicht an dicht bzw. Abbildung durch Linsensysteme) ergab sich die beste Kopplungsmethode als Retroanordnung von zwei Fotoobjektiven.

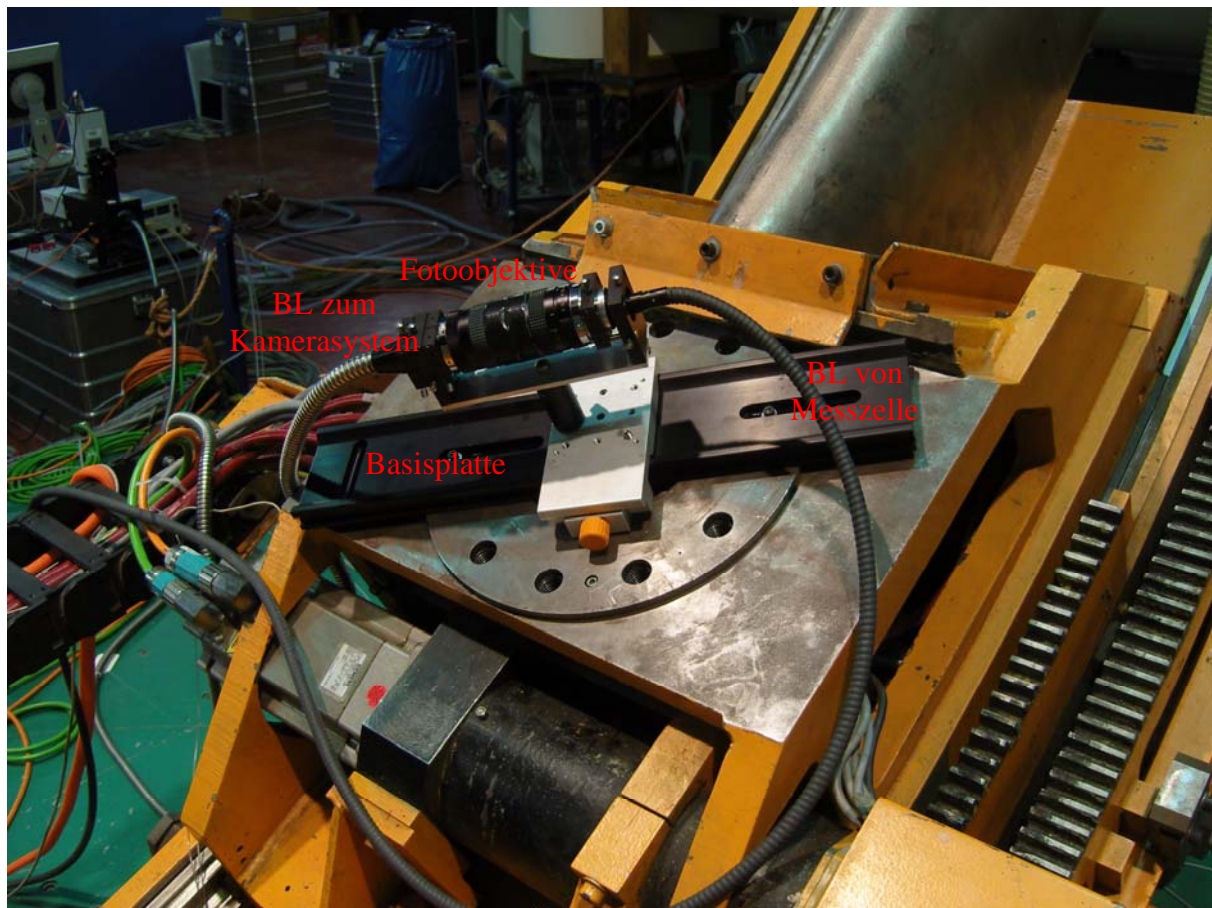


Abb. 21: Kopplung zweier Bildleiter mittels Fotoobjektiven

7. Optimierung der Messzeit

Eine Verkürzung der Messzeit gegenüber der DGV-1-Messzelle sollte durch folgende Punkte erreicht werden:

- 1) Verwendung von Multimode-Lichtleitfasern, die eine höhere Transmission (ca. 70%) als Singlemode-Fasern (ca. 50%) haben.
- 2) Integration eines MaxLine-Filters, der die doppelte Transmission gegenüber dem bisher verwendeten Linienfilter hat.
- 3) Erhöhung der Weichengeschwindigkeit zur Umschaltung der verschiedenen Lichtschnitte

Die Realisierung von 1) erfolgte problemlos durch die Konstruktion der neuen dynamischen Lichtschnittmodule.

MaxLine-Filter werden zurzeit nur mit 25mm Durchmesser angeboten, notwendig für eine Integration in das DGV-Kamerasystem sind aber 50mm. Daher wurde auf den Einbau dieses Filtertyps verzichtet. Für die Zukunft kann aber wahrscheinlich ein 25mm Filter zwischen die Fotoobjektive der Bildleiterkopplung platziert werden.

Der Versuch, die Weichengeschwindigkeit mittels einer Erhöhung der Steuerspannung zu vergrößern, schlug fehl, da das System mit der höheren Spannung zwar schneller die Weichenpositionen anfuhr allerdings bei dauerhaften Betrieb Ausfälle in der Elektronik zeigte.

Eine detaillierte Bewertung der einzelnen Arbeitspunkte zur Verbesserung der Systemrobustheit wird im internen DLR-Bericht „Durchführung von Standversuchen zur Systemvalidierung“ gegeben.

8. Anhang

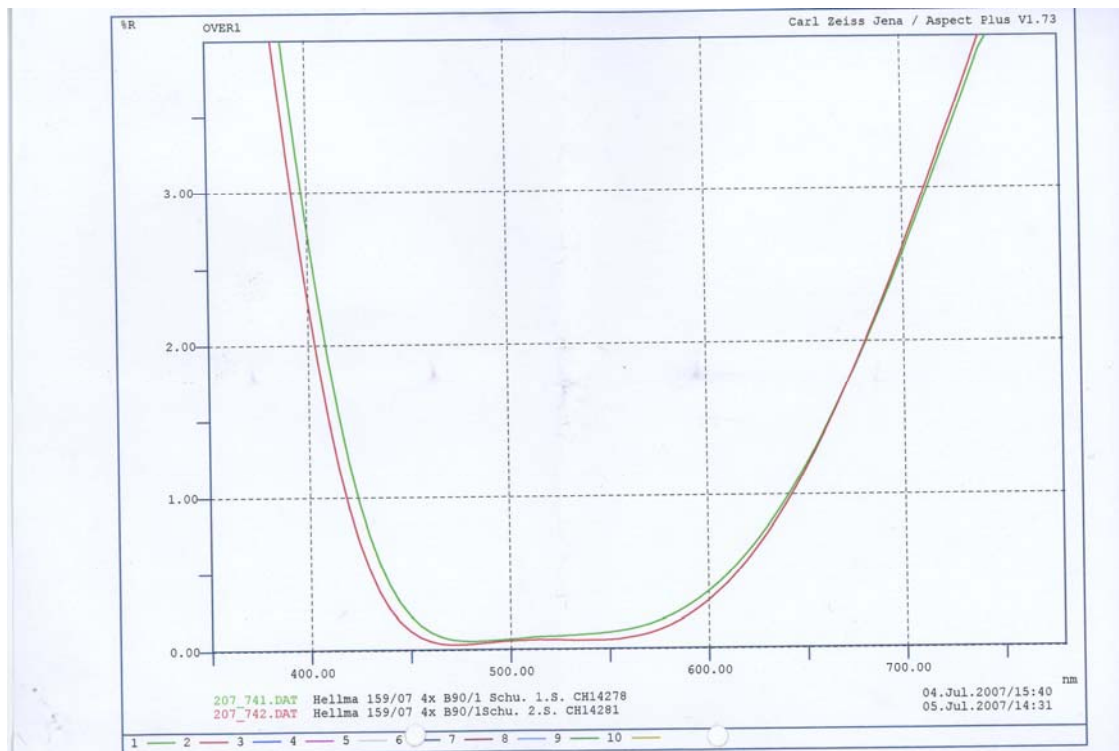


Abb. 22: Reflexionskurve des AR- Coating des Umlenkprismas

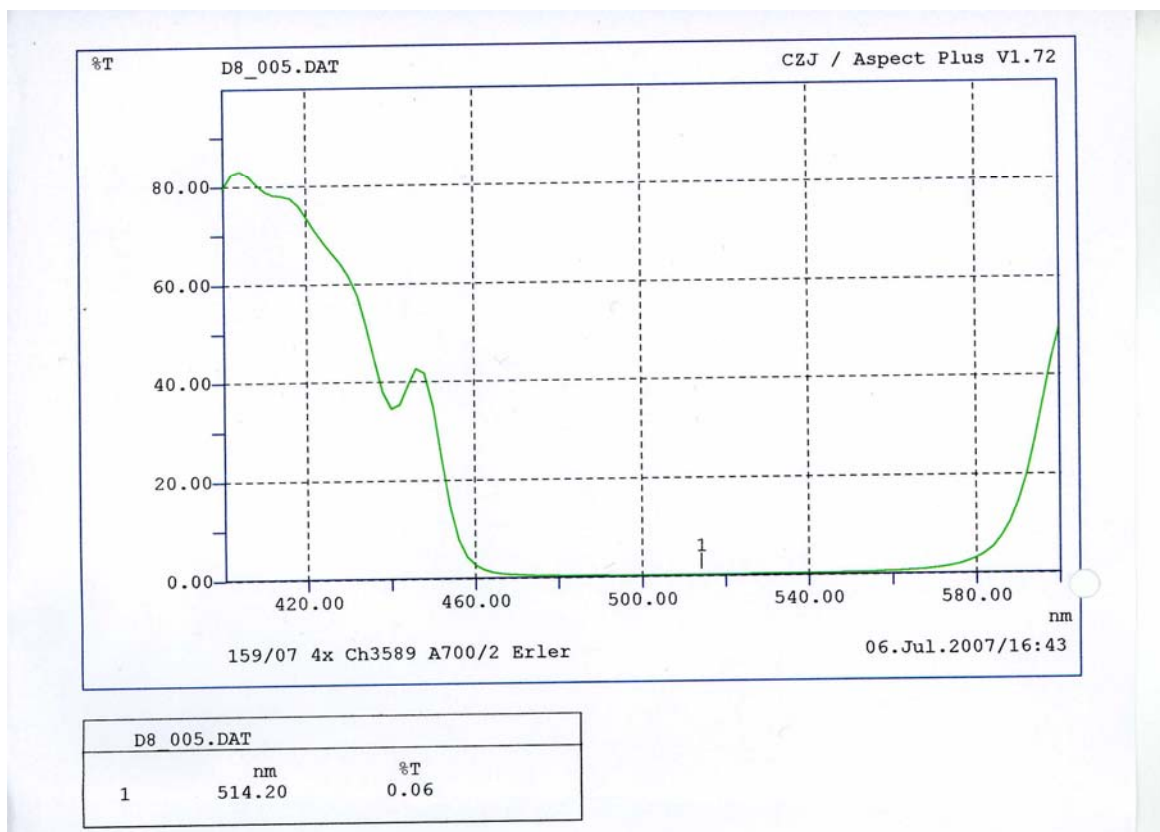


Abb 23: Transmissionskurve des HR- Coating des Umlenkprismas

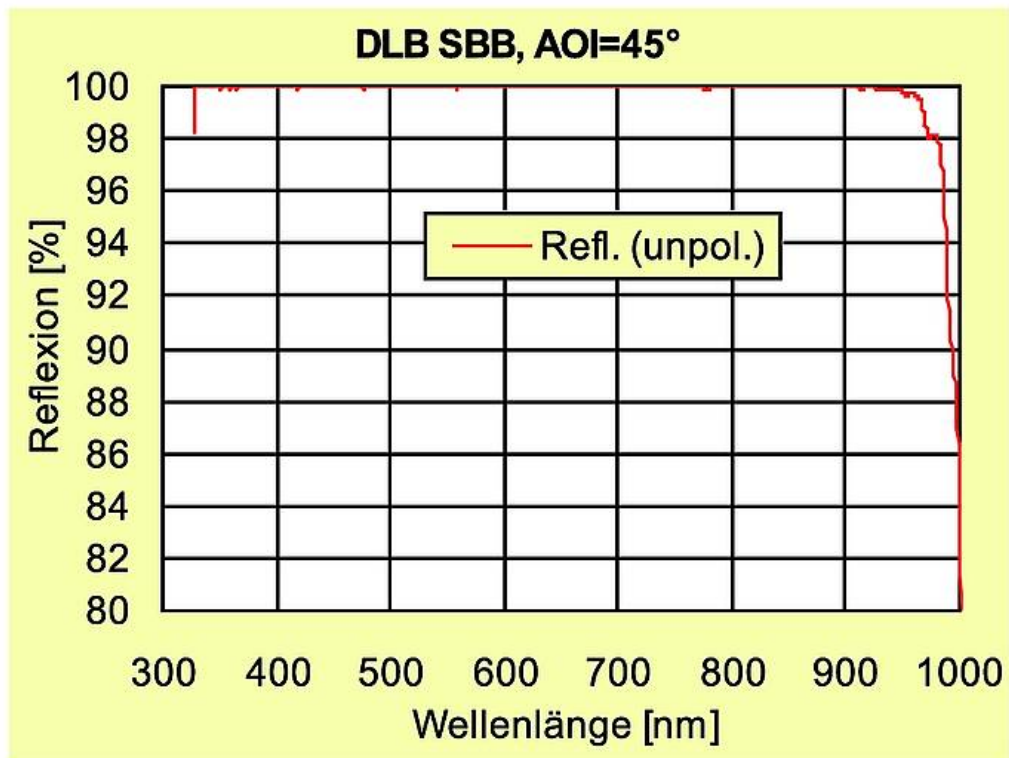


Abb. 24: Reflexionskurve des Umlenkspiegel

Kolbenstangenzyylinder → Minizylinder

* Minizylinder, Serie 131

Ø 2,5 - 6 mm; Anschlüsse: Ø 2,6 - M5; einfachwirkend, drucklos eingefahren; Dämpfung: elastisch; korrosionsbeständig; Kolbenstange: Außengewinde



Druckluftanschluss

Innengewinde

Betriebsdruck min./max.

-- / 7 bar

Umgebungstemperatur min./max.

-20 °C / +70 °C

Mediumtemperatur min./max.

-20 °C / +70 °C

Medium

Druckluft

max. Partikelgröße

5 µm

Ölgehalt der Druckluft

0 mg/m³ - 5 mg/m³

Druck zur Bestimmung der Kolbenkräfte

6 bar

Werkstoffe:

Zylinderrohr

Nichtrostender Stahl

Kolbenstange

Nichtrostender Stahl

Deckel vorne

Messing

Anschlussgewinde

Messing

Dichtung

Acrylnitril-Butadien-Kautschuk

Technische Bemerkungen

- Der Drucktaupunkt muss mindestens 15 °C unter der Umgebungs- und Mediumtemperatur liegen und darf max. 3 °C betragen.
- Der Ölgehalt der Druckluft muss über die gesamte Lebensdauer konstant bleiben.
- Verwenden Sie ausschließlich von Bosch Rexroth zugelassene Öle, siehe Kapitel „Technische Informationen“.
- Ø 6 mm : Aluminium eloxiert

Kolben-Ø	[mm]	2,5	4	6		
Kolbenkraft ausfahrend	[N]	3	7	17		
Federkraft min. - max.	[N]	0,75 - 1,2	1,8 - 2,9	2,3 - 4,9		
Gewicht	0 mm Hub	[kg]	0,002	0,01	0,02	

	Kolben-Ø Kolbenstangengewinde Anschlüsse	2,5 Ø 2,6	4 M2x0,4 Ø 2,6	6 M3x0,5 M5		
	Hub 5	-	1316104050	-		
	10	1316102100	1316104100	-		
	15	-	1316104150	-		
	20	-	1316104200	-		
	30	-	-	1316105300		

* Kernprodukte - vorzugsweise für Neukonstruktion, weltweiter Service
 ● Ergänzungsprodukte - bestehendes Standardprogramm, weltweiter Service
 Pneumatik-Katalog, Online-PDF, Stand 2008-11-03, © Bosch Rexroth AG

Abb. 25: Kolbenstangenzyylinder zur Bewegung der Strahlfallenklappe

* 5/2-Wegeventil, Serie LS04 XS





Qn = 200 l/min; Rohranschluss; Druckluftanschluss Ausgang: Ø 4; Elektr. Anschluss: Stecker, Industriesteckverbinder, 2-polig; Handhilfsbetätigung: nicht rastend, rastend



Bauart	Schieberventil, Überschneidungsfrei
Vorsteuerung	intern
Dichtprinzip	weich dichtend
Betriebsdruck min./max.	3 bar / 8 bar
Umgebungstemperatur min./max.	-10 °C / +50 °C
Mediumentemperatur min./max.	-10 °C / +50 °C
Medium	Druckluft
max. Partikelgröße	5 µm
Ölgehalt der Druckluft	0 mg/m³ - 5 mg/m³
Schutzklasse nach IEC 60536	III
Schutzart nach EN 60529:2000 mit Leitungsdose / Stecker	IP 50
Schutzbeschaltung	Z-Diode
Statusanzeige LED	Gelb
Einschaltdauer	100 %
Einschaltzeit	9 ms
Ausschaltzeit	21 ms
Störaussendung nach	EN 61000-6-4:2002
Störfestigkeit nach	IEC 61000-6-2:2005
Befestigungsschraube	M3
Anzugsmoment der Befestigungsschraube	0,5 Nm
Werkstoffe:	
Gehäuse	Polyamid; Polyoxymethylen
Dichtungen	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk; Hydrierter Nitril-Butadien-Kautschuk; Polyurethan

- Der Drucktaupunkt muss mindestens 15 °C unter der Umgebungs- und Mediumtemperatur liegen und darf max. 3 °C betragen.
- Der Ölganghalt der Druckluft muss über die gesamte Lebensdauer konstant bleiben.
- Verwenden Sie ausschließlich von Bosch Rexroth zugelassene Öle, siehe Kapitel „Technische Informationen“.

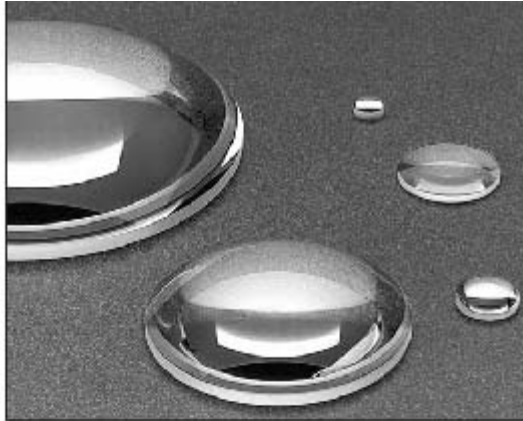
Betriebsspannung	Spannungstoleranz	Leistungsaufnahme
DC	DC	DC
24 V	-10% / +10%	W

	H1B	Druckluftanschluss			Betriebsspannung	Durchflussleitwert		Durchflusswert	Gewicht	Materialnummer
		Eingang	Ausgang	Entlüftung	DC	b	C	Qn		
							[l/(s*bar)]	[l/min]	[kg]	
		Ø 4	Ø 4	Ø 4	24 V	0,4	0,8	200	0,03	R4 22 10 05 55
		Ø 4	Ø 4	Ø 4	24 V	0,4	0,8	200	0,03	R4 22 10 05 57

HHB = Handhilfsbetätigung
Nerndurchfluss On bei 6 bar und $\Delta p = 1$ bar

- * Kernprodukte - vorzugsweise für Neukonstruktion, weltweiter Service
● Ergänzungsprodukte - bestehendes Standardprogramm, weltweiter Service
Pneumatik-Katalog, Online-PDF, Stand 2008-10-07, © Bosch Rexroth AG

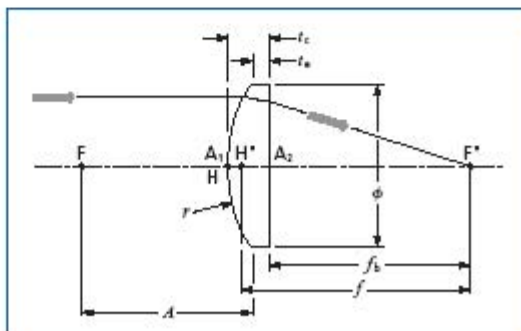
Abb. 26: 5/2-Wegeventil zur Ansteuerung der Kolbenstangenzyylinder



Plano-convex lenses have one flat and one convex surface. They have a positive focal length and, when the preferred focal plane is adjacent to the flat surface, they closely approach best-form for infinite and near-infinite conjugate ratios. Plano-convex lenses are used in many devices including telescopes, collimators, magnifiers, radiometers, optical transceivers, and condensers.

- Plano-convex lenses are used to converge incident light.
- They form both real images (as focused on a piece of paper) and virtual images (as seen through the lens if used as a magnifier).
- Lenses are available in a variety of materials including BK7, synthetic fused silica, sapphire, and calcium fluoride.
- Antireflection coatings can be ordered by appending the appropriate coating suffix as described in Chapter 5, *Optical Coatings*.

Glass lenses exhibit excellent transmissive properties from below 400 nm to above 1 μm . Synthetic fused silica lenses extend transmission to below 200 nm and have superior thermal and mechanical characteristics. Sapphire lenses have high transmission from 150 nm to above 6 μm . Both chemically inert and extremely hard, sapphire lenses can be cleaned repeatedly without damage or scratching. Calcium fluoride lenses, with a transmission down to 150 nm, are highly suitable for deep-ultraviolet applications. Go to Chapter 4, *Material Properties* for a more detailed discussion on materials properties.



Plano-convex lens

Plano-Convex Lenses

Plano-Convex Glass Lenses

SPECIFICATIONS:

Paraxial Focal Length: $f \pm 2\%$, (400 series $\pm 5\%$)

Design Wavelength (λ_0): 546.1 nm or 587.6 nm

Clear Aperture (CA): 90% of central diameter

Optical Material: BK7, BaK1, LaSFN9, or SF15

Center Thickness: $t_c \pm 0.2$ mm

Centration: 3 arc minutes

Diameter: $\phi + 0/-0.1$ mm ($+0/-0.15$ mm for $\phi > 75$ mm)

Surface Quality: 60-40 scratch and dig

Edge Characteristics: Ground with a slight protective bevel

Do you need ...

FIXED LENS HOLDER

Fixed lens holders are ideal for mounting optics from 10 to 145 mm in diameter. The holder is constructed of black-anodized aluminum, with the nominal lens diameter clearly labeled.



The lens holders for our standard diameter lenses are

Lens Diameter	PART NUMBER
12.5 mm	07 LHF 002
25.0 mm	07 LHF 007
50.0 mm	07 LHF 018

Holders for most nonstandard lenses are also available. Go to page 22.2-22.3 for complete specifications.

Assorted Diameters (continued)

f (mm)	ϕ (mm)	$t\#$	f_b (mm)	CA (mm)	t_c (mm)	t_e (mm)	A_2H^* (mm)	A (mm)	r (mm)	Material	λ_0	PRODUCT NUMBER
100.0	40.0	2.8	96.1	36.0	6.0	2.0	-4.0	104.0	51.872	BK7	546.1	01 LPX 179
100.0	52.0	2.1	93.5	46.8	9.9	2.9	-6.5	107.0	51.872	BK7	546.1	01 LPX 181
100.0	60.0	1.9	91.8	54.0	12.5	2.9	-8.2	109.6	51.872	BK7	546.1	01 LPX 183
100.0	80.0	1.4	85.8	72.0	21.6	2.8	-14.2	118.9	51.872	BK7	546.1	01 LPX 187
110.0	30.0	4.1	107.4	27.0	4.0	2.0	-2.6	112.0	57.059	BK7	546.1	01 LPX 201
120.0	60.0	2.2	113.0	54.0	10.6	2.9	-7.0	127.7	62.247	BK7	546.1	01 LPX 209
120.0	80.0	1.7	108.6	72.0	17.4	2.9	-11.5	134.6	62.247	BK7	546.1	01 LPX 211
125.0	30.0	4.6	122.6	27.0	3.7	1.9	-2.4	126.8	64.840	BK7	546.1	01 LPX 217
127.0	25.4	5.6	124.9	22.9	3.2	2.0	-2.1	128.2	65.878	BK7	546.1	01 LPX 219
140.0	77.0	2.0	130.9	69.3	13.9	2.9	-9.2	151.1	72.621	BK7	546.1	01 LPX 235
150.0	22.4	7.4	148.2	20.2	2.8	2.0	-1.8	150.8	77.808	BK7	546.1	01 LPX 237
150.0	30.0	5.6	147.7	27.0	3.5	2.0	-2.3	151.5	77.808	BK7	546.1	01 LPX 238
150.0	42.0	4.0	146.8	37.8	4.9	2.0	-3.2	152.9	77.808	BK7	546.1	01 LPX 239
150.0	105.0	1.6	134.1	94.5	24.2	3.8	-15.9	170.4	77.808	BK7	546.1	01 LPX 245
152.4	50.8	3.3	147.7	45.7	7.2	3.0	-4.7	156.6	79.053	BK7	546.1	01 LPX 249
160.0	29.0	6.1	157.8	26.1	3.3	2.0	-2.2	161.3	82.996	BK7	546.1	01 LPX 257
177.0	50.8	3.9	172.7	45.7	6.6	3.0	-4.4	180.6	91.814	BK7	546.1	01 LPX 259
185.0	75.0	2.7	178.0	67.5	10.6	3.0	-7.0	192.6	95.964	BK7	546.1	01 LPX 263
196.0	15.0	14.5	194.5	13.5	2.3	2.0	-1.5	196.3	101.670	BK7	546.1	01 LPX 265
200.0	22.4	9.9	198.3	20.2	2.6	2.0	-1.7	200.6	103.744	BK7	546.1	01 LPX 267
200.0	30.0	7.4	198.0	27.0	3.1	2.0	-2.0	201.1	103.744	BK7	546.1	01 LPX 268
200.0	130.0	1.7	182.5	117.0	26.6	3.7	-17.5	222.9	103.744	BK7	546.1	01 LPX 281
250.0	30.0	9.3	248.1	27.0	2.9	2.0	-1.9	250.9	129.681	BK7	546.1	01 LPX 282
250.0	145.0	1.9	233.0	130.5	25.9	3.7	-17.1	272.2	129.681	BK7	546.1	01 LPX 289
254.0	101.6	2.8	244.7	91.4	14.1	3.9	-9.3	264.2	131.755	BK7	546.1	01 LPX 303
300.0	47.0	7.1	297.5	42.3	3.8	2.0	-2.5	301.8	155.617	BK7	546.1	01 LPX 305
330.0	145.0	2.5	316.9	130.5	20.0	3.9	-13.2	346.1	171.178	BK7	546.1	01 LPX 311
450.0	145.0	3.5	439.8	130.5	15.5	4.0	-10.2	461.6	233.425	BK7	546.1	01 LPX 336
600.0	42.0	15.9	598.2	37.8	2.7	2.0	-1.8	600.7	311.233	BK7	546.1	01 LPX 323
1000.0	30.0	37.0	998.6	27.0	2.2	2.0	-1.5	1000.3	518.722	BK7	546.1	01 LPX 345

Melles Griot can reduce (edge) diameters of lenses to meet your requirements. Contact us for details.

Note: For plano-convex lenses, the primary vertex (V_1) and the primary principal point (H) are coincident. Consequently, $A_1H = 0$.

Edmund Optics:

Plano-Convex Lens 4.0mm Dia. x 6.0mm FL, MgF2 Coating NT45-428

Dia. (mm)	4.0
E.F.L. (mm)	6.0
Back F.L. (mm)	4.51
C.T. (mm)	2.26
E.T. (mm)	1.53
Radius R1 (mm)	3.11
Glass Type	BK7

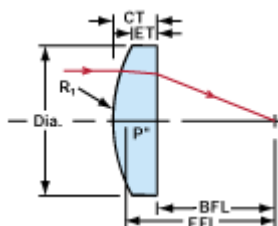


Abb. 27-29: Daten der verwendeten Linsen zur Lichtschnittzerzeugung